

## ANALISIS DOSIS *OUTPUT* BERKAS ELEKTRON PESAWAT TELETERAPI *LINEAR ACCELERATOR (LINAC)* TIPE VARIAN HCX 6540 MENGUNAKAN TRS 398

Ivonne Indri Rahayu\*, Wira Bahari Nurdin\*\*, Bannu Abdul Samad\*\*

\*Alumni Jurusan Fisika Konsentrasi Fisika Medik FMIPA UNHAS

([ivonneiir@gmail.com](mailto:ivonneiir@gmail.com))

\*\* Jurusan Fisika FMIPA UNHAS

### ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang analisis dosis output berkas elektron pesawat teleterapi *linear acceleration* (LINAC) tipe Varian HCX 6540 dengan energi 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV dan 15 MeV menggunakan protokol *Technical Report Series* (TRS) 398 IAEA. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dosis radiasi output elektron pesawat LINAC tipe HCX 6540 untuk energi 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV dan 15 MeV dengan menggunakan *water phantom*, kemudian hasil tersebut dibandingkan dengan standar pada protokol TRS 398 IAEA. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa pada kedalaman maksimum berkas elektron 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV dan 15 MeV pada luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  mengalami penyimpangan yang bervariasi namun masih sesuai dengan batas toleransi yang ditetapkan yaitu  $\pm 3\%$ .

Kata kunci: TRS 398 IAEA, *Linear acceleration*, *water phantom*, *dosis output*

### ABSTRACT

Research on the analysis of output dose of the electron beam teletherapy linear accelerator (LINAC) type Varian HCX 6540 with energy 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV and 15 MeV using IAEA Technical Report Series (TRS) 398 protocols had been conducted. This research aims to measure output dose of LINAC electron beam in amount of 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV and 15 MeV using water phantom. The result are compared with the standard protocol IAEA TRS 398. Our result shown that on the maximum depth of electron beam 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV and 15 MeV by the field size  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  experiencing varying irregularities but still in accordance with the specified tolerance limit is  $\pm 3\%$ .

Keyword : IAEA TRS 398, Linear Accelerator, water phantom output dose.

## 1. Pendahuluan

Radioterapi adalah jenis terapi yang menggunakan radiasi tingkat tinggi untuk menghancurkan sel-sel kanker. Baik sel-sel normal maupun sel-sel kanker bisa dipengaruhi oleh radiasi ini. Proses ionisasi sebagai hasil interaksi radiasi pengion dengan materi (dalam hal ini sel kanker/tumor) akan membuat rantai DNA kanker/tumor tersebut putus sehingga mematikan jaringan tersebut.

Berdasarkan uraian diatas penulis merasa perlu melakukan pengujian terhadap dosis output berkas elektron dari pesawat teleterapi Linac untuk mengetahui secara dini bagaimana kondisi pesawat tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dosis radiasi output elektron pesawat Linac tipe HCX 6540 untuk energi 6, 9, 12 dan 15 MeV dengan mengacu pada protokol TRS no.398 dan membandingkan hasil penelitian sesuai dengan standar yang telah ditentukan oleh protokol TRS No. 398 bahwa 1 cGy sama dengan 1 *Monitor Unit* (MU) dengan batas toleransi  $\pm 3\%$ .

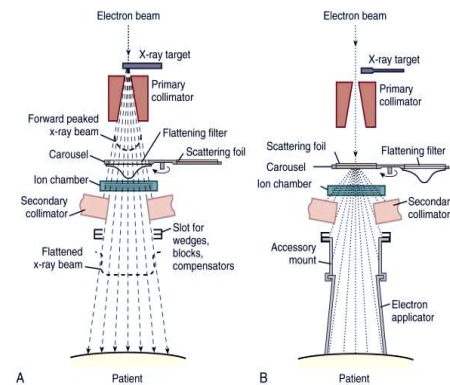
## 2. Teori

Radioterapi adalah suatu spesifikasi klinis yang menggunakan radiasi pengion baik sinar elektromagnetik maupun partikel untuk mengobati tumor ganas (dan beberapa keadaan/tumor jinak). Tujuan radioterapi adalah memberikan dosis radiasi yang tepat pada volume tumor tertentu untuk membunuh tumor dengan kerusakan seminimal mungkin pada jaringan sehat sekitarnya, serta untuk mencapai kualitas hidup yang baik.

### Pesawat Radioterapi *Linear Accelerator*

Linac merupakan mesin pemercepat elektron dengan energi kinetik 4 MeV sampai dengan 25 MeV<sup>[8]</sup>. Elektron dipercepat menggunakan *microwave*. Bagian umum Linac yaitu: 1) Generator RF : untuk mengakselerasi elektron pada energi tertentu dan dapat berupa magnetron (biasanya ditemukan pada pesawat berenergi rendah) atau klystron, 2) *Elektron gun*: diode dan triode, 3) *Accelerating waveguide*, 4) *Steering coils* : menjaga elektron tetap berada pada *accelerating waveguide* dan tidak menyimpang dari lintasannya, 5) *Focusing coils* : menghentikan penyimpangan elektron ketika diakselerasi., 6) Bagian kepala: a. *Bending magnet* : mengubah arah lintasan elektron pada sudut

90°, 270°, maupun zig zag, b. Target : berinteraksi dengan elektron dalam menghasilkan foton, c. *Flattening filter* : mengurangi intensitas radiasi pada sumbu pusat dan semakin berkurang pada daerah tepi., d. Sistem optis: membatasi *focus skin distance*(FSD) dan menunjukkan arah berkas penyinaran, e. Kolimator : terdiri dari kolimator utama (*primary collimator*) dan kolimator kedua (*secondary collimator*). Selain itu, biasa juga disertakan kolimator tambahan berupa *multileaf collimator* (MLC).



Gambar I Skema yang menunjukkan komponen dasar pada bagian kepala linear accelerator. A, Komponen untuk menghasilkan sinar-x. B, Komponen untuk menghasilkan elektron (diambil dari Khan, Faiz M. 2010. The Physics of Radiation Therapy. Lippincott Williams and Baltimore)

### Persentase dosis kedalaman (PDD)<sup>[3]</sup>

Persentase dosis kedalaman (PDD) adalah hasil bagi dari dosis serap pada suatu kedalaman tertentu (Dd) dengan dosis serap pada suatu kedalaman tertentu dengan dosis serap pada kedalaman maksimum ( $D_{max}$ ) yang dinyatakan dalam persentase dinyatakan dengan rumus <sup>[12]</sup>:

$$PDD = \frac{Dd}{D_{max}} \times 100 \quad (2.1)$$

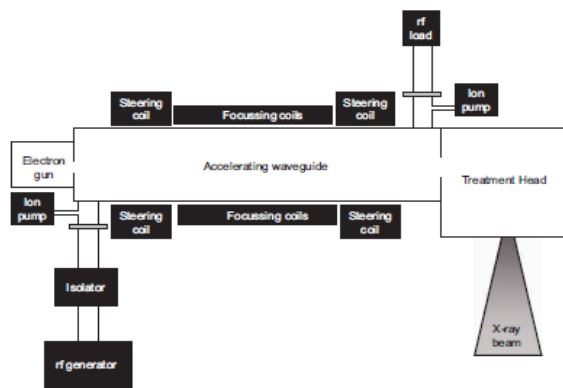
dimana :

$Dd$  = dosis serap pada suatu kedalaman

$D_{max}$  = dosis serap pada kedalaman maksimum

.Dosis maksimum dari dosis yang diberikan

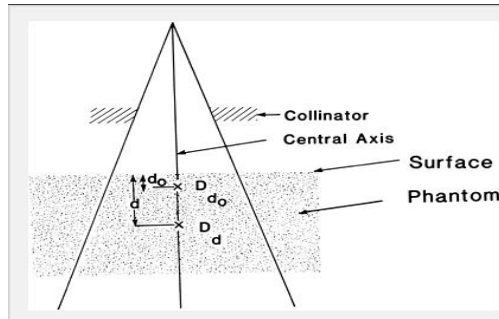
atau dapat dirumuskan sebagai berikut:



Gambar I. Komponen utama Linear Accelerator (LINAC)

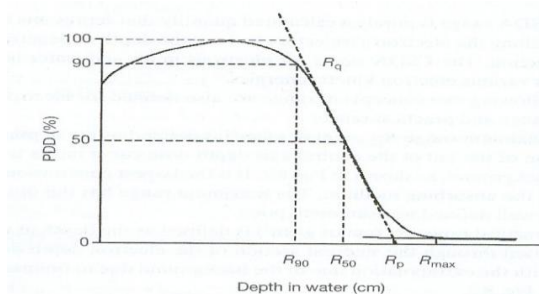
Proses keluaran sinar-X dan elektron dapat ditunjukkan pada gambar di bawah:

$$D_{max} = \frac{Dd}{PDD} \times 100\% \quad (2.2)$$



**Gambar II : persen dosis kedalaman yaitu ( $D_d/D_{d_0}$ ) dimana  $d$  berada pada kedalaman yang diinginkan dan  $d_0$  merupakan kedalaman referensi pada dosis maksimum. (Khan,2005)**

Distribusi dosis pada sumbu utama dalam pasien atau fantom yang dikenal sebagai *PDD* (*percentage depth dose*), umumnya dinormalisasikan dengan dosis maksimum ( $D_{maks}$ ) = 100%, yakni dosis pada kedalaman maksimum ( $d_{max}$ )



**Gambar III : Kurva PDD berkas elektron**

### Dosis Serap

Dalam radioterapi perhatian diarahkan pada dosis serap jaringan yang diradiasi. Perhitungan dosis absorpsi sangat ditentukan oleh hasil pengukuran keluaran pesawat

yang akan dipakai. Biasanya keluaran pesawat terapi diukur dengan salah satu metoda dari 2 metoda di bawah ini <sup>[8]</sup>:

- 1) Pengukuran dalam fantom air atau fantom padat pada titik acuan tertentu,
- 2) Pengukuran dalam udara

Secara matematis dosis serap dituliskan sebagai berikut:

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (2.3)$$

$dE$  adalah energi yang diserap oleh bahan yang mempunyai massa  $dm$ .

### Petunjuk Praktis Pengukuran Berkas Elektron Energi Tinggi Berdasarkan TRS 398

TRS 398 merupakan kode praktis yang diaplikasikan pada berkas elektron klinis berenergi tinggi dengan kisaran 3 MeV hingga 5 MeV. Fantom yang digunakan harus 5 cm lebih panjang pada setiap sisinya daripada lapangan yang digunakan dan sekurang-kurangnya  $5 \text{ g.cm}^{-2}$  melebihi kedalaman pengukuran maksimum. Umumnya, air merupakan material yang direkomendasikan untuk fantom pada pengukuran berkas elektron namun pada keadaan tertentu fantom plastik dimungkinkan pada kualitas berkas  $R_{50} < 4 \text{ g.cm}^{-2}$ .

Chamber ionisasi yang direkomendasikan dalam pengukuran absolut berkas elektron yaitu chamber ionisasi keping sejajar (*plane parallel ionization chamber*). Chamber silindris juga dapat digunakan untuk elektron dengan kualitas berkas  $R_{50} \geq 4$  g.cm<sup>-2</sup>.

- **Penentuan Kedalaman Pengukuran Berkas Elektron**

Pengukuran berkas elektron dengan menggunakan chamber ionisasi keping sejajar dilakukan pada kedalaman  $z_{ref}$  dan  $z_{ref} + \frac{r}{2}$  jika menggunakan chamber silindris. Kedalaman referensi  $z_{ref}$  ditentukan dengan persamaan:

$$z_{ref} = 0.6 R_{50} - 0.1 \text{ g/cm}^2 \quad (2.4)$$

( $R_{50}$  dalam g/cm<sup>2</sup>)

Dengan  $z_{ref}$  yang merupakan kedalaman referensi pada saat pengukuran berkas radiasi elektron. Nilai  $R_{50}$  merupakan kedalaman paro pada dosis serap di air untuk energi elektron yang diukur secara relatif dari permukaan air sampai kedalaman tertentu dengan satuan prosentase yang biasanya disajikan dalam tabel (PDD) *Percentage Depth Dose*. Informasi tabel PDD, yaitu kondisi aplikator dan energi

nominal yang digunakan, harus sesuai pada saat pengukuran.

- **Faktor Koreksi Penentuan Dosis Serap Berkas Elektron**

Diperlukan beberapa faktor koreksi untuk menentukan laju dosis serap berkas elektron di dalam air. Faktor tersebut adalah sebagai berikut :

a.  $k_{TP}$  : faktor koreksi temperatur, kelembaban dan tekanan udara terhadap keadaan referensi. Besarnya koreksi ini dapat ditentukan dengan persamaan (2.2)

$$k_{TP} = \frac{273.15+T}{273.15+T_0} \frac{P_0}{P} \quad (2.5)$$

dengan  $T$  suhu rongga chamber yang berdasarkan suhu air di sekitar chamber dalam satuan °C dan  $P$  adalah temperatur dan tekanan udara saat pengukuran berlangsung, sedangkan  $T_0$  dan  $P_0$  merupakan suhu dan tekanan referensi yang dicantumkan dalam sertifikat kalibrasi chamber (umumnya 101.3 kPa dan 20 °C).

b.  $k_{elec}$  : faktor kalibrasi elektrometer, jika dalam sertifikat tidak dicantumkan faktor tersebut maka nilai  $k_{elec}$  adalah 1 dimana hal ini berarti chamber dikalibrasi bersamaan dengan elektrometer.

- c.  $k_{pol}$  : faktor koreksi respon detektor ionisasi terhadap efek pergantian polaritas yang diberikan pada detektor. Nilai  $k_{pol}$  sangat signifikan pada berkas elektron energi tinggi. dapat dihitung dengan persamaan

$$k_{pol} = \frac{|M_+| + |M_-|}{2M} \quad (2.6)$$

dengan  $M_+$  adalah bacaan pengukuran pada polaritas positif (+), sedangkan  $M_-$  merupakan bacaan pengukuran pada polaritas negatif (-).  $M$  adalah bacaan dari polaritas yang rutin digunakan (positif atau negatif).

- d.  $k_s$  : faktor koreksi respon detektor ionisasi terhadap kurang lengkapnya pengumpulan muatan pada ionisasi di udara. Nilai  $k_s$  dapat dihitung dengan persamaan

$$k_s = a_0 + a_1 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) + a_2 \left( \frac{M_1}{M_2} \right)^2 \quad (2.7)$$

dengan  $a_0$ ,  $a_1$  dan  $a_2$  adalah koefisien kuadratik untuk perhitungan nilai  $k_s$  dengan menggunakan metode “two voltage” yang diambil dari Tabel 4.VII TRS No. 389 IAEA. Sedangkan  $M_1$  adalah bacaan pengukuran untuk tegangan yang biasa digunakan (V) dan  $M_2$  adalah bacaan pengukuran untuk tegangan referensi misalnya  $\left( \frac{V}{4} \right)$

- e.  $k_{Q,Q_0}$ : faktor koreksi perbedaan antara respon detektor ionisasi dalam kualitas berkas yang digunakan sebagai kalibrasi detektor ( $Co-60$ ) terhadap kualitas berkas elektron yang diberikan pada Tabel 7.III TRS 398 sebagai fungsi dari kualitas berkas  $R_{50}$ .

#### • Penentuan Keluaran Berkas Elektron Pada Kedalaman Referensi, $Z_{ref}$

Keluaran berkas elektron pada kedalaman referensi ditentukan dengan pengukuran ionisasi menggunakan dosimeter. Pengukuran dilakukan di dalam fantom air berukuran 30 cm x 30 cm x 30 cm, aplikator 10 cm x 10 cm, *Source Surface Distance* (SSD) 100 cm dan pada kedalaman  $Z_{ref}$  sesuai pada persamaan (2.1). Berkas elektron untuk kedalaman  $Z_{ref}$  ditentukan dengan persamaan (2.8).

$$D_{w,Q} = M_Q \cdot N_{D,w,Q_0} \cdot k_{Q,Q_0} \quad (2.8)$$

Dosis serap di dalam air ( $D_{w,Q}$ ) dihitung dari pengukuran muatan ( $M_Q$ ).  $M_Q$  merupakan bacaan dosimeter pada kualitas berkas  $Q$  yang telah dikoreksi terhadap pengaruh kuantitas : tekanan dan temperatur, kelembaban, polaritas, rekombinasi, kalibrasi elektrometer, dan bahan fantom.

$$M_Q = (M_{un} - M_0) \cdot k_{TP} \cdot k_{elec} \cdot k_{pol} \cdot k_s \quad (2.9)$$

$M_{un}$  merupakan bacaan detektor sebelum dilakukan penyinaran sedangkan  $M_0$  adalah bacaan detektor setelah dilakukan penyinaran. Sedangkan  $N_{Dw,Q}$  merupakan dari perhitungan dosis absorpsi di air pada kualitas referensi Co-60 yang diperoleh dari laboratorium standar dan  $k_Q$  adalah faktor koreksi kualitas berkas.

- **Penentuan Keluaran Berkas Elektron Pada Kedalaman Maksimum,  $Z_{max}$**

Dibutuhkan PDD untuk menentukan keluaran berkas elektron pada kedalaman maksimum. Penentuan dosis serap pada kedalaman maksimum dapat ditentukan dengan persamaan:

$$D_{w,Q}(z_{max}) = 100 D_{w,Q}(z_{ref}) / PDD(z_{ref}) \quad (2.10)$$

dengan 100 adalah nilai 100%,  $D_{w,Q}(z_{ref})$  adalah dosis serap pada kedalaman  $z_{ref}$ , dan  $PDD(z_{ref})$  adalah nilai prosentase untuk pengukuran di kedalaman  $z_{ref}$ . Penentuan keluaran berkas elektron pada kedalaman maksimum bertujuan untuk mengatur bacaan detektor monitor dalam satuan MU sehingga 1 cGy sama dengan 1 MU.

## METODOLOGI PENELITIAN

Pengukuran dosis serap dilakukan dalam medium *water phantom* dengan kondisi SSD 100 cm dan luas lapangan penyinaran yang

divariasikan, yaitu SSD 90 cm, 95 cm, 100 cm, 105 cm, 110 cm dan luas lapangan penyinaran 10 cm x 10 cm serta dengan nominal energi berkas elektron yang divariasikan yaitu 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV dan 15 MeV. Detektor *ion chamber Plane parallel* tipe ROOS pada permukaan *water phantom* dirangkaikan dengan elektrometer *ion chamber* yang telah terhubung dengan komputer. Penyinaran dilakukan sebanyak 5 kali pada tegangan 300 V dan -300 V, 100 V dan 300 V serta 300 V pada tiap nominal energi dimaksudkan agar data yang diperoleh lebih akurat. Pengambilan data menggunakan detektor dioda dilakukan setelah. Analisis data dilakukan dengan dengan bantuan aplikasi Microsoft Excel 2007.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pesawat radioterapi *linear accelerator* (LINAC) yang digunakan adalah pesawat LINAC Merk Varian tipe HCX 6540.

### Penentuan Kedalaman Pengukuran Berkas Elektron

Kedalaman pengukuran dihitung dengan persamaan (2.4) yang nilai  $R_{50}$  telah diketahui dari grafik pengukuran PDD. Nilai  $R_{50}$  dan kedalaman pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1

**Tabel 1 Penentuan kedalaman pengukuran untuk berkas elektron energi 6, 9, 12 dan 15 MeV**

Energi	R <sub>50</sub>	Z <sub>ref</sub>
6 MeV	2.35	1,31
9 MeV	3.6	2,060
12 MeV	4.97	2,882
15 MeV	6.27	3,662

### Kalkulasi Faktor Koreksi

Nilai faktor-faktor koreksi beserta PDD di kedalaman tertentu dapat dilihat pada Tabel 2, yang selanjutnya nilai tersebut digunakan untuk menentukan keluaran berkas elektron energi nominal 6 dan 8 MeV pada pesawat LINAC Merk Varian Tipe HCX 6540.

**Tabel 2 Faktor Koreksi**

Faktor	6	9	12	15
Koreksi	MeV	MeV	MeV	MeV
k <sub>pol</sub>	1,00	1,00	1,00	1,00
k <sub>s</sub>	1,01	1,01	1,01	1,01
k <sub>elec</sub>	1	1	1	1
k <sub>q</sub>	0,9391	0,924	0,90238	0,90238
PDD <sub>zref</sub>	99.62%	99,89%	99,85%	99,60%
N <sub>D,WQ</sub>	83.6	83.6	83.6	83.6

### Penentuan Keluaran Berkas Elektron Pada Kedalaman Referensi, z<sub>ref</sub> dan Maksimum, z<sub>max</sub>

Hasil pengukuran dan penentuan keluaran berkas elektron energi nominal 6, 9, 12 dan 15 MeV dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 5. Penentuan keluaran berkas elektron**

Energi (MeV)	Penentuan keluaran pada z <sub>ref</sub> (cGy)	Penentuan keluaran pada z <sub>max</sub> (cGy/100 MU)	Deviasi keluaran pada z <sub>max</sub> terhadap Monitor Unit
6	102	103	0,03%
9	102	102	0,02%
12	101	101	0,01%
15	101	101	0,01%

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai Analisis Dosis *Output* Berkas Elektron Pesawat Teleterapi *Linac* Tipe Hcx 6540 Menggunakan TRS 398, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari hasil analisis data pengukuran pada berkas elektron LINAC energi 6, 9, 12 dan 15 MeV didapatkan nilai dosis per 1 MU masing-masing adalah 1,03, 1,02, 1,01 dan 1,01 cGy.
2. Dari hasil analisis data pengukuran pada berkas elektron LINAC energi 6, 9, 12 dan 15 MeV ditemukan penyimpangan dosis dengan persentase masing-masing 3%, 2%, 1% dan 1% namun masih dalam batas toleransi dimana persentasi toleransi penyimpangan dosis berdasarkan TRS 398 yaitu  $\pm 3\%$ .



## DAFTAR PUSTAKA

1. Wiebe, R dan Rodrigues, G.2006. *Radiation –Induced Lung Injury : Strategies for Reducing Therapeutic Dosage*. Parkhurst.
2. Soejoko, D.S. 2002. *Jaminan Kualitas Dalam Radioterapi Eksterna*. UI, Depok.
3. Wurdianto, G. dan Trijoko, S. *Kendali Kualitas Dan Jaminan Kualitas Pesawat Radioterapi Bidikan Baru Laboratorium Metrologi Radiasi*. BATAN.
4. Darmawati dan Suharni. 2012. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya Vol.14: Implementasi Linear Accelerator dalam Penanganan Kasus Kanker*. UGM, Yogyakarta.
5. Bondan, D.P. 2012. *Tesis Fisika Medik: Perbandingan Hasil Pengukuran Parameter Berkas Sinar-X Dan Elektron Keluaran Pesawat Linac Dengan Menggunakan Detektor Matriks Dan Phantom Air*. Universitas Indonesia, Depok.
6. Murtala, Bachtiar. 2001. *Dasar-dasar Radioterapi*. Universitas Hasanuddin, Makassar
7. Khan, F. M. 2010. *The Physics of Radiation Therapy, The, 4<sup>th</sup> edition*. Lippincott Williams and Wilkins.
8. Firmansyah, A.F. dan Rajagukguk, N. 2011. *Penentuan Keluaran Berkas Elektron Energi Nominal 6 Dan 8 Mev Dari Pesawat Pemercepat Linier Medik Synergy Platform Model S151731 milik Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Ciptomangunkusumo*. BATAN, Jakarta.
9. Amsori. 2009. *Pengaruh Kemiringan Sudut Gantri Pada Dosis Permukaan Phantom Berkas Radiasi Gamma Cobalt-60*. Skripsi Fisika. Universitas Indonesia, Depok.
10. IAEA.2000. *Technical Report Series no.398: Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy*. IAEA, Vienna.
11. Anonim.2011. *Pedoman Keselamatan dan Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong*. Batan, Serpong.
12. Khan, F.M dkk. 1991. *TG 25 “Clinical Elektron Beam Dosimetry”*. AAPM.
13. Male, S.2012. *Tesis Fisika Medik: Kalkulasi Dosis Paru Pada Perlakuan Radioterapi Booster Untuk Pasien Kanker Payudara Dengan Simulasi Monte Carlo*. UI, Depok.

14. Podgorsak E. B. (2005). *External Photon Beams: Physical Aspects*, in *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*, edited by Podgorsak E. B., pages 161-217. IAEA, Vienna.
15. Putera, A. 2007. *Skripsi :Kestabilan Keluaran dan Energi berkas Elektron 9, 12, 16 dan 20 MeV Produksi Linac Varian 2100C*. Universitas Indonesia, Depok.
16. R, Nurman dkk. 2010. *Verifikasi Penentuan Laju Dosis Serap Di Air Berkas Foton 6 Mv Dan 10 Mv Pesawat Pemercepat Linier Medik Clinac 2100 C Milik Rumah Sakit Dr. Cipto Mangunkusumo*. BATAN.
17. R. Wahyuni A. dkk. 2013. *Analisis Hubungan Dosis Serap dengan Jarak Sumber Radiasi ke Permukaan Medium (SSD) dan Luas Lapangan Penyinaran dari Pesawat Linear Accelerator (LINAC)*. Skripsi Fisika. Universitas Hasanuddin, Makassar
18. Suharni, Dkk. 2010. *Tinjauan Teknologi Akselerator Linear (LINAC) Elekta Precise di RSUP Dr. Sardjito*. BATAN, Yogyakarta.